文章编号:0258-7106 (2005) 02-0134-07

内蒙古黑鹰山富铁矿床磷灰石钐-钕同位素年龄及其地质意义*

聂凤军,江思宏,刘 妍,胡 朋
(中国地质科学院矿产资源研究所,北京 10037)

摘 要 黑鹰山富铁矿床地处北山造山带西伯利亚板块与哈萨克斯坦-北山板块汇聚地带,是中国西北地区规模最大和品位最高的富铁矿床之一,其独特的产出环境和地质特征为国内外地质学界所关注。为了查明该矿床的形成过程,笔者首次对致密块状铁矿体中的 6 件磷灰石样品和脉状铁矿体中的 2 件磷灰石样品进行了钐-钕同位素测定。块状矿体的 6 件样品所获等时线年龄为(322.0 ±4.3) Ma,MSWD 值为 0.09,$^{143}Nd/^{144}Nd$ 初始比值为(0.512308 ±0.000003),$\varepsilon_{Nd}(t)$为(1.66 ±0.01)。脉状矿体中 2 件样品的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值分别为 7.20 和 7.26,明显高于块状矿体磷灰石样品。依据上述同位素分析数据和特征比值,结合容矿围岩和矿体地质特征,推测黑鹰山富铁矿床的形成与海西早期富碱岩浆流体多期次活动有关,成矿物质主要来自地幔物质占优势比例的壳-幔混源岩浆房。

关键词 地球化学;富铁矿床;磷灰石;钐-钕同位素;矿床成因;黑鹰山;内蒙古
中图分类号:P618.31;P597⁺.3 **文献标识码**:A

黑鹰山铁矿床位于甘肃酒泉市正北 280 km 处,属内蒙古额济纳旗管辖,为中国西北地区最重要的富铁矿床之一。该矿床是原祁连山地质队于 20 世纪 50 年代末进行区域地质调查时发现露头,后经钻探和坑探查明的一处中型富铁矿床❶。20 世纪 80 年代初期,原甘肃省地质局地质 4 队重上黑鹰山,开展大比例尺地质填图和综合找矿工作,并且在该矿床第 II和第 III矿段之间发现一处中型磷-钇矿体,极大地提高了该铁矿床的综合利用价值❷。关于该矿床的成因,目前主要存在以下几种认识,其一,与中酸性火山岩有关的典型浅成矿浆铁矿床(宋学信,1989);其二,火山气液充填交代型铁矿床(赵觉仁等,1975;黄永瑞,1985);其三,属火山-矿浆和火山-热泉双重成因(杨敏之,2003)。

笔者在执行国家地质调查项目和国家自然科学基金项目期间,对黑鹰山富铁矿床进行了较系统的地质和地球化学研究,并且对与磁铁矿(或假象赤铁矿)共生的磷灰石开展了钐-钕同位素测定,旨在进一步探讨该矿床的成矿环境、形成时代、形成过程和物质来源,为在黑鹰山铁矿床深部和外围寻找隐伏富铁矿体提供理论依据。

1 地质概况

1.1 成矿环境

黑鹰山富铁矿床的大地构造位置处于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-北山板块碰撞对接带,具体位置为哈萨克斯坦-北山板块北带红石山-黑鹰山地体东北部,黑鹰山-流沙山背斜东南倾没端(图 1)(刘雪亚等,1995;周济元等,1996;聂凤军等,2002)。区内出露的地层主要有第四系沉积物和石炭系下统白山组火山-沉积岩,前者为风成沙和残坡积物,后者主要是英安岩、英安质流纹岩、凝灰熔岩、火山角砾岩、次生石英岩和灰岩。矿区范围内海西期侵入岩脉分布广泛,主要岩石类型有英安斑岩、钠长斑岩、花岗斑岩、闪长岩和花岗细晶岩。另外,受矿区北侧古板块碰撞对接带——骆驼山-红石山-黑鹰山深大断裂的影响,矿区范围内除了分布近东西走向的单斜构造

* 本项研究得到国家自然科学基金项目(编号:40073015)和国家地质调查项目(编号:K1.3.32)资助
第一作者简介 聂凤军,男,1956 年生,研究员,博士生导师,从事金属矿床地球化学研究。e-mail:nfjj@mx.cei.gov.cn。
收稿日期 2004-11-08;改回日期 2004-12-14。张绮玲编辑。
❶ 甘肃省地质局. 1977. 区域地质调查报告(1∶20 万),黑鹰山幅(K-47-ⅩⅤ,矿产部分),1~40.
❷ 甘肃省地质矿产局. 1983. 区域地质调查报告(1∶5 万),黑鹰山幅(K-47-65-B,矿产部分),1~85.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

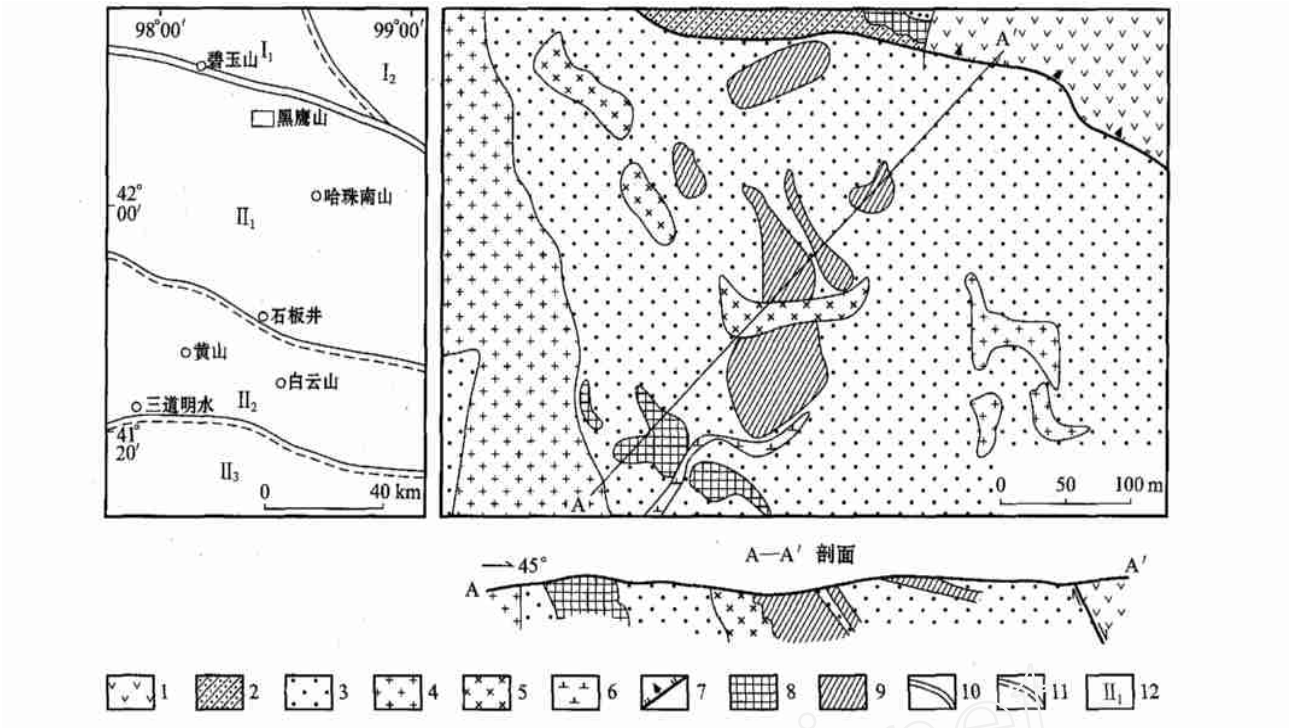


图 1　内蒙古黑鹰山富铁矿床地质简图(局部)

1 —凝灰岩;2 —英安岩和英安质流纹岩;3 —英安岩;4 —钠长斑岩;5 —花岗斑岩; 6 —闪长斑岩;7 —断层;8 —铁矿体;9 —钇矿体; 10 —古板块俯冲带;11 —地体界限; 12 —地体编号。西伯利亚板块(I) : I_1 —乌珠尔嘎顺地体; I_2 —雀儿山地体。哈萨克斯坦-北山板块(II) : II_1 —红石山-黑鹰山地体; II_2 —公婆泉-月牙山地体; II_3 —马鬃山中间地块

Fig. 1　Simplified geological map of the Heiyingshan high-grade iron deposit, Inner Mongolia, the insert showing its locality

Carboniferous volcanic rocks of the Baishan Formation: 1 —Tuff; 2 —Dacite liparite and dacite; 3 —Dacite. Hercynian intrusions: 4 —Albite porphyry; 5 —Granite porphyry; 6 —Diorite porphyrite; 7 —Fault; 8 —Iron orebody; 9 —Yttrium orebody; 10 —Subduction zone of ancient plate; 11 —Terrane boundary; 12 —Serial number of the terrane. Siberian plate (I) : I_1 —Wuzhuergashun terrane; I_2 —Queershan terrane. Kazakhstanian-Beishan plate(II) : II_1 —Hongshishan —Heiyingshan terrane; II_2 —Gongpoquan- Yueyashan terrane; II_3 —Mazongshan terrane

外,近东西向、北东向和北西向压扭性断裂以及北西向和南北向张性断裂亦分布广泛,其中近东西向和北西向断裂对铁矿体的空间分布及形态具有明显的控制作用。铁矿化主要在英安岩和英安质流纹岩中呈团块状、条带状和脉状产出,并且构成具有工业价值的矿体。

1.2　块状铁矿体

迄今为止,在黑鹰山铁矿床范围内先后发现铁矿体 215 处,它们自北向南大体可划分为 5 个矿段。在这 5 个矿段中,第 II和第 III矿段主要由致密块状铁矿体所组成,其金属量约占整个铁矿床储量的 2/3 以上。致密块状铁矿体呈似层状、囊状和透镜状在各类火山-沉积岩地层和中酸性侵入岩脉中产出,其中英安岩、钠长斑岩和英安质流纹岩内铁矿石量约占第 II和第 III矿段总储量的 75 %(体积百分数),相比之下,次生石英岩和凝灰质角砾岩内铁矿石量仅占 25 %(体积百分数)。铁矿体长度变化范围为 5～330 m,厚 5～20 m(最厚处可达 110 m),倾斜延伸 100～200 m[1]。矿石矿物主要为假象赤铁矿和磁铁矿,脉石矿物有磷灰石、石英、绿泥石和碧玉。近矿体热液蚀变有绿泥石化、硅化、次生石英岩化、绢云母化和碳酸盐化。需要提及的是,在黑鹰山铁矿床第 II和第 III矿段之间分布有一系列独立的磷-钇矿体,这些矿体多呈透镜状和楔状在钠长斑岩和英安岩中产出。磷-钇矿体长度变化范围为 44～120 m,平均值 76 m,宽为 12～39 m,平均值 20 m,倾斜延伸 100～200 m。矿石主要矿物组合为磷灰石、磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、黄铁矿、石英、辉石、绢云母和绿帘

[1] 甘肃省地质矿产局. 1983. 区域地质调查报告(1∶5 万),黑鹰山幅(K-47-65-B,矿产部分). 1～85.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

石。钻(坑、槽)探验证结果表明,Y_2O_3 和 P_2O_5 的储量分别为 733 t 和 57 万吨,矿石中 Y_2O_3 和 P_2O_5 的品位变化范围分别为 0.058 %～0.13 %(平均值 0.08 %)和 3.98 %～5.74 %(平均值为 4.26 %)(赵觉仁等,1975;黄永瑞,1985)❶。

1.3 脉状铁矿体

铁矿化常呈不规则状石英-磁铁矿脉和石英-磷灰石-磁铁矿脉在英安岩、钠长斑岩和英安质流纹岩中产出,部分地段可以观察到各类脉状的铁矿体明显切割或穿插到致密块状铁矿体和容矿火山岩地层中。脉状铁矿体的金属量约占整个铁矿床储量的 1/4。含铁矿脉长为 6～160 m,平均值 65 m,宽 0.5～2 m,平均值 1.2 m,倾斜延伸 100～250 m。矿石中金属矿物主要为磁铁矿、自然金、黄铜矿和黄铁矿,脉石矿物有磷灰石、石英、长石、辉石和角闪石。近矿体热液蚀变为硅化、绢云母化、绿泥石化和角岩化。脉状铁矿体无论在分布范围和储量方面,还是在矿物组合、热液蚀变类型及形成时间上均不同于前述致密块状铁矿体,它们反映了两者在形成机理上存在有一定的差别。

1.4 矿物组合

铁和磷-钇矿体各类矿石空间分布关系以及岩(矿)相学研究结果表明,在铁矿石和磷-钇矿石中,磷灰石都是最为常见的脉石或矿石矿物。团块状、浸染状和脉状铁矿石中的矿物组合主要有阳起石-磷灰石-磁铁矿、石英-磷灰石-磁铁矿和磷灰石-磁铁矿,相比之下,致密块状磷-钇矿石中的矿物组合为磁铁矿(假象赤铁矿)-磷灰石和石英-磷灰石。本次研究过程中,笔者主要对 6 件致密团块状和 2 件脉状磷灰石-磁铁矿矿石样品中的磷灰石进行了系统的钐-钕同位素年代测定。致密块状磷灰石-磁铁矿矿石样品中的磷灰石多呈棕黄色或淡黄色,半自形—自形柱粒状,粒径变化范围从几毫米至几厘米,最大者 1 cm ×3 cm,与磁铁矿共生。相比之下,脉状石英-磷灰石-磁铁矿矿石样品中的磷灰石多为肉红色或褐红色,六方柱状,粒径一般为(0.5～2.5) cm ×(0.3～1) cm,最大者为 14 cm ×2 cm,与粗粒状磁铁矿呈共生结构关系。需要提及的是,磷灰石在镜下均为无色透明,一轴晶(-),平行消光,No = 1.633～1.642,Ne = 1.629～1.636。黑鹰山富铁矿床中磷灰石的上述光学参数与标准氟磷灰石相似。另外,磷灰石化学分析结果表明,F 和 Cl 含量变化范围分别为 2.71 %～3.19 %(平均值为 3.05 %)和 0.09 %～0.33 %(平均值为 0.18 %),其中 F 含量介于沉积岩型(2.21 %)和火成岩型(4.06 %)氟磷灰石氟含量平均值之间(王濮等,1987)。根据磷灰石光学特点和氟含量,有理由认为,黑鹰山富铁矿床中的磷灰石属氟磷灰石。

2 钐-钕同位素分析方法

2.1 样品采集与制备

用于钐-钕同位素年龄测定的样品分别采自黑鹰山铁矿床致密块状和脉状铁矿石,容矿围岩均为石炭系下统英安岩和英安质流纹岩。磷灰石是通过全矿石样品破碎、过筛、手工淘洗、电磁选和实体显微镜检查等工序获取的,单矿物样品的纯度均大于 98 %(体积分数)。

2.2 钐-钕同位素分析方法

磷灰石样品分析是在天津地质矿产研究所同位素年代学实验室完成的,详细的化学处理流程和质谱测定技术可参阅 Mearns(1986)的文献。钕同位素比值测定的内校正因子采用 $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.7219$,对 Johnson-Mathey Nd_2O_3 的测定结果为 0.511125 ±0.000008。样品的 Sm-Nd 分析采用双流程工艺:I.D 流程的用样量在 0.15 g 左右,I.C 流程的用样量以取得 1.0 μg 左右的纯 Nd 为准,采用 HDEHP 反色层技术取得纯净的 Nd。实验用水为 4 次纯化的纯净水。各种实验用高纯试剂从市场上购得,这些试剂在空气净化实验室中分别用“双瓶蒸馏法”和“亚沸蒸馏法”进行再次纯化。实验用具和器皿用聚四氟乙烯(teflon)或石英材料制作。全实验室流程 Sm 和 Nd 的空白本底分别为 4.5×10^{-11} g 和 5.6×10^{-11} g。国家一级标准岩石样品的 Sm-Nd 的结果是 Sm = 3.017 μg/g、Nd = 10.066 μg/g、$^{143}Nd/^{144}Nd$ = 0.512739 ±0.000005。BCR-1 的结果是 Sm = 6.571 μg/g、Nd = 28.753 μg/g、$^{143}Nd/^{144}Nd$ = 0.512644 ±0.000005。Sm-Nd 同位素等时线年龄是采用 Ludwig(1992)计算机软件计算的,衰变常数为 $\lambda(^{147}Sm) = 6.54 \times 10^{-12}/a$(Jacobsen et al., 1984)。

❶ 甘肃省地质矿产局. 1983. 区域地质调查报告(1∶5 万),黑鹰山幅(K-47-65-B,矿产部分). 1～85.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　钐-钕同位素分析结果

黑鹰山富铁矿床 8 件磷灰石样品钐-钕同位素分析数据及其特征比值列于表 1。在$^{143}Nd/^{144}Nd$-$^{147}Sm/^{144}Nd$图中(图 2),致密块状铁矿石 6 件磷灰石样品的数据点均排列在一条直线上,相关系数为 0.995,该直线对应的等时线年龄为(322.0 ±4.3) Ma,MSWD 值为 0.09。此外,同位素等时线的$^{143}Nd/^{144}Nd$初始比值为(0.512308 ±0.000003)和$\varepsilon_{Nd}(t)$为(1.66 ±0.01)。相比之下,脉状铁矿石 2 件磷灰石样品的$^{143}Nd/^{144}Nd$值分别为 0.512758 和 0.512899,明显高于致密块状铁矿石磷灰石(表 1)。另外,脉状铁矿石的 2 件磷灰石样品 ε_{Nd}(322 Ma)值分别为7.20和 7.26,同样高于致密块状铁矿石磷灰石。磷灰石样品所有上述钐-钕同位素组成特征表明,致密块状和脉状铁矿石在物质来源和形成机制上存在一定的差异。

表 1　内蒙古黑鹰山富铁矿床磷灰石 Sm-Nd 同位素分析结果及特征比值

Table 1　Sm-Nd isotopic analyses and characteristic ratios of apatite separates from the Heiyingshan high-grade iron deposit, Inner Mongolia

样品编号	Sm/ 10^{-6}	Nd/ 10^{-6}	Sm/ Nd	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	2σ	ε_{Nd}(322 Ma)	ε_{Nd}(0 Ma)
致密块状铁矿石磷灰石								
LYK-06	326.5834	1081.4413	0.302	0.1826	0.512693	6	1.65	+1.07
LYK-07	110.8693	849.6104	0.130	0.0789	0.512475	4	1.67	-3.18
LYK-23	123.7083	550.0462	0.225	0.1360	0.512595	5	1.66	-0.84
LYK-24	121.1643	1057.7977	0.115	0.0693	0.512454	6	1.65	-3.59
LYK-25	175.9530	647.8852	0.272	0.1642	0.512655	5	1.67	+0.33
LYK-26	187.6359	1071.1704	0.175	0.1059	0.512532	5	1.67	-2.07
脉状铁矿石磷灰石								
LYK-21	126.3856	971.2300	0.130	0.0787	0.512758	6	7.20	+2.34
LYK-22	85.5690	358.6363	0.239	0.1442	0.512899	4	7.26	+5.09

测试单位:天津地质矿产研究所同位素年代学实验室。

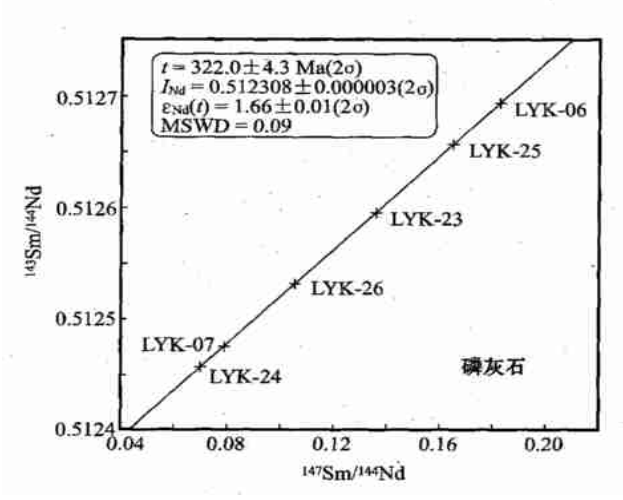


图 2　内蒙古黑鹰山富铁矿床致密块状铁矿石中磷灰石$^{143}Nd/^{144}Nd$-$^{147}Sm/^{144}Nd$图

Fig. 2　$^{143}Nd/^{144}Nd$ versus $^{147}Sm/^{144}Nd$ diagram of apatite separates from massive iron ores of the Heiyingshan high-grade iron deposit, Inner Mongolia

4　矿床成因讨论

4.1　区域地壳演化与成矿作用

哈萨克斯坦-北山板块北缘经历过前寒武纪、加里东期、海西期和印支期构造旋回,与之相对应的是西伯利亚板块与哈萨克斯坦-北山板块之间长期的多阶段的碰撞作用(刘雪亚等 1995;周济元等,1996;聂凤军等,2002)。晚石炭世,黑鹰山一带的构造格局开始从压扭性向张裂状态转换,一系列规模不等、形态各异的张裂盆地的出现以及大量富碱火成岩(火山岩和侵入岩脉)的形成即是很好的例证。另外,区域地质调查和重磁测量结果表明,这一时期,黑鹰山地区属地幔热异常区(冯天泗,1987)。受各类地质热事件的影响,强烈的火山喷溢活动不仅形成了石炭系下统白山组巨厚的火山-沉积岩地层,同时也为含矿流体的上侵和运移提供了热和动力来

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

源。随着火山活动的进行,一方面,铁、磷、钇和硫等成矿组分可随各种火山物质一同沉淀下来,进而形成富铁矿体;另一方面,火山热液流体亦可对围岩进行热液交代作用,从围岩中萃取部分成矿元素,并且在近矿体处形成各种热液蚀变。因此,成矿作用是整个火山活动的延续和发展(聂凤军等,2002)。

4.2 钕同位素对成矿时代和物质来源的制约

一般来讲,判别同位素等时线年龄是否具有地质意义的主要依据有 3 条,即所测样品是否同期形成、是否具有同样物质来源和同位素体系是否处于封闭状态。本文用于钐-钕同位素分析的致密块状铁矿石磷灰石样品基本可以满足上述几个条件:①所有 6 件磷灰石样品均采自同一透镜状铁矿体的不同部位,从野外地质调查和室内的岩(矿)相学证据看,它们是同源岩浆(或流体)活动的产物。此外,6 件磷灰石样品数据比照同位素等时线年龄(322.0 ±4.3) Ma 所计算的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值变化范围很小(表 1),同样佐证了上述的推论;②在采样地点未观察到任何强烈变形和成矿期后热液活动的迹像;③铁矿体的容矿围岩为一套石炭系下统白山组英安岩和英安质流纹岩地层。基于上述讨论,并且考虑到磷灰石(322.0 ±4.3) Ma 的年龄值与野外观察到的地质证据相吻合,笔者将该钐-钕同位素等时线年龄值解释为磷灰石从含矿岩浆或高温流体中沉淀与富集的时间。考虑到所测磷灰石与磁铁矿呈共生结构关系,笔者认为,黑鹰山富铁矿床很可能是海西早期构造-岩浆活动的产物。

如前所述,在(322.0 ±4.3) Ma 时,致密块状铁矿石 6 件磷灰石样品的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值变化范围为 1.65～1.67,平均值为 1.66(表 1),该特征比值明显低于同期亏损地幔演化线(DM)的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(8.0),高于同期古大陆壳 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(-7.56～9.70, DePaolo, 1988),而与铁矿体容矿围岩英安岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值1.45～2.75 相似(聂凤军等,2004)。钕同位素的这种组成特点反映了以下 3 方面问题,其一,磷灰石和英安岩的源岩同位素组成比较均一;其二,古老地壳物质混染的影响很小;其三,幔源组分在成岩(矿)物质来源中占有优势比例。洪大卫等(2000)注意到兴蒙造山带(含黑鹰山地区,笔者注)许多古生代和中生代花岗岩均以具正 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值和年轻的钕模式年龄(t_{DM})值为特征,并且认为花岗岩浆的形成与幔源洋壳物质的部分熔融作用有关。尽管磷灰石与花岗岩在产出环境和形成机理上并不完全一样,但是在钐-钕同位素体系演化过程中存在有许多可对比之处,特别是导致 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值高低的影响因素。根据 6 件磷灰石样品的钕同位素特征,可以推测致密块状铁矿石的形成过程大体如下:①大量亏损地幔源洋壳物质与少量陆壳物质在 322 Ma 前发生物理或化学混合作用;②受海西早期(322 Ma)强烈构造活动影响,混合物质发生部分熔融,并且形成含矿熔浆;③含矿熔浆沿特定构造部位发生上侵定位或喷溢作用,进而形成大面积分布的中酸性火山岩;④通过结晶分异作用,含矿熔浆在上侵定位过程中可产生大量含铁高温热液流体,并且形成含大量磷灰石的铁矿石。另外,矿体空间分布、围岩蚀变和稀土元素地球化学特征亦反映了这样一种地质实事,即含矿流体经历过一定程度的分异作用,致密块状铁矿石并非是矿浆直接贯入的产物。

尽管脉状铁矿石与致密块状铁矿石磷灰石样品在矿物学和元素地球化学特征方面比较相似,但是在钕同位素组成上存在较明显的差别。脉状铁矿石 2 件磷灰石样品 ε_{Nd}(322 Ma)值分别为 7.20 和 7.26,明显高于致密块状铁矿石磷灰石 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(1.66 ±0.01),与同时期亏损地幔演化线 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(8.0)相近(DePaolo, 1988)。根据脉状铁矿石磷灰石钕同位素组成特点,结合其形成时代明显晚于致密块状铁矿石的地质实事,笔者推测致密块状和脉状铁矿石是不同来源和不同期次岩浆热液活动的产物,其中脉状铁矿石中幔源物质组分要远高于致密块状铁矿石。从宏观地质特征看,黑鹰山富铁矿床及外围的石炭系下统中酸性火山岩和海西期花岗岩分布广泛,各种断裂构造十分发育,各类火山机构星罗棋布,富铁矿体呈片或群产出,含矿岩浆热液活动具有多来源、多期次和多成因的特点,因此,同一铁矿区产出有两类磷灰石也是预料之中的事情。

尽管黑鹰山富铁矿床与长江中下游宁芜铁矿床和瑞典基鲁纳铁矿床在产出环境、形成时代、容矿围岩和形成机理上存在明显差异,但是它们的磷灰石稀土元素配分型式却有许多相似之处[1]。考虑到稀土元素配分型式受多种因素所制约,不同成因和不同物质来源的磷灰石很可能具有完全相同或相似的稀土元素配分型式,为了解决上述问题,在对磷灰石

[1] 聂凤军,江思宏,刘 妍,等. 2005. 内蒙古黑鹰山富铁矿床磷灰石稀土元素地球化学特征. 地球学报(待刊稿)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

样品开展元素地球化学研究的同时,对其进行钐-钕同位素分析是完全有必要的。

5 结 论

(1) 首次对西北地区黑鹰山富铁矿床磷灰石进行了钐-钕同位素分析,6 件致密块状铁矿石的磷灰石样品钐-钕同位素等时线年龄为(322.0 ±4.3) Ma,MSWD 值为 0.09。根据这一同位素年龄值,结合该矿床其他地质和地球化学数据资料,可以推测,黑鹰山富铁矿床成矿作用主要发生在海西早期。

(2) 致密块状铁矿石中 6 件磷灰石样品 ε_{Nd}(322 Ma)值为(1.66 ±0.01),低于同期亏损地幔 ε_{Nd}(322 Ma)值,而明显高于同期古大陆壳 ε_{Nd}(322 Ma)值。表明致密块状铁矿石成矿物质主要来自地幔物质占优势比例的壳-幔混源岩浆房。

(3) 脉状铁矿石中 2 件磷灰石样品 ε_{Nd}(322 Ma)值分别为 7.20 和 7.26,明显高于致密块状铁矿石磷灰石,与同期亏损地幔源 ε_{Nd}(322 Ma)值相近,表明此类铁矿石成矿物质主要来自亏损地幔源。

(4) 依据黑鹰山富铁矿床磷灰石钐-钕同位素年龄,结合矿床已有的其他地质、矿物和地球化学数据资料,可以认为,该矿床的成矿作用与海西晚期幔源岩浆流体多期次活动有关,致密块状富铁矿石并非是铁矿浆直接贯入到火山-沉积岩地层内所形成的。

致 谢 本研究的野外地质调查与采样工作得到了原内蒙古地质矿产局 108 地质队杨崇文高级工程师、内蒙古地质调查院王新亮和苏新旭高级工程师的帮助,室内研究得到中国地质科学院矿产资源研究所白大明和赵省民研究员的支持。文字录入和图件清绘由张冰和吴燕玲女士完成,作者谨表衷心感谢。

References

DePaolo D J. 1988. Neodymium isotope geochemistry. An introduction: Minerals and rocks[M]. Berlin/ Heidelberg/ New York: Springer. 20:1～187.

Feng T S. 1987. Applications of geophysical methods to Heiyingshan iron mine, and its results[A]. Contributions to exploration geophysics and geochemistry[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 83～94 (in Chinese with English abstract).

Hong D W, Wang S G, Xie X L, et al. 2000. Genesis of positive ε_{Nd}(t) granitoids in the Da Hinggan Mts —Mongolia orogenic belt and growth continental crust[J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences), 7(2):441～456 (in Chinese with English abstract).

Huang Y R. 1985. The origin of the Heiyingshan iron deposit[J]. Gansu Regional Geology, (15): 20～24 (in Chinese).

Jacobsen S and Wasserburg G J. 1984. Sm-Nd isotopic evolution in chondrite and achondrite II[J]. Earth Planet Sci. Lett., 67: 137～150.

Liu X Y and Wang Q. 1995. Tectonics of the orogenic belts in Beishan Mt., western China and their evolution[J]. Geological Research (Dixueyanjiu), 28:37～48 (in Chinese with English abstract).

Ludwig K R. 1992. Isoplot V.2.57: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data[M]. U.S. Geological Survey Open-File Report 91～445, rev. March 1992, 40p.

Mearns E W. 1986. Sm-Nd ages for Norwegian garnet peridotite[J]. Lithos, 19: 269～278.

Nie F J, Jiang S H, Bai D M, et al. 2002. Metallogenic studies and ore prospecting in the conjunction area of Inner Mongolia, Gansu and Xinjiang (Beishan Mt.), northwest China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1～408 (in Chinese with English abstract).

Nie F J, Jiang S H, Hu P, et al. 2004. Geological features and ore-forming material sources of Hongjianbingshan tungsten deposit in Beishan mountain, Cansu Province[J]. Mineral deposit, 23(1): 11～19(in Chinese with English abstract).

Song X X. 1989. Petrographic and geochemical features of the Heiyingshan iron deposit and its genesis[J]. Bulletin of Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, (1): 69～79 (in Chinese with English abstract).

Wang P, Pan Z L and Weng L B. 1987. Systematic mineralogy (Lower part)[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 168～170 (in Chinese).

Yang M Z. 2003. Rich iron deposit types, ore formation series and ore prediction in Beishan area, Gansu Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18 (1): 6～12 (in Chinese with English abstract).

Zhao J R and Tong B Y. 1975. Geological features of the Heiyingshan iron deposit, Gansu Province[A]. In: Selected papers of China's iron and copper deposits (No.3)[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 133～144 (in Chinese).

Zhou J Y, Zhang B, Zhang C W, et al. 1996. Geology of silver, rhenium-molybdenum, gold and copper deposits occurring within the eastern Tianshan ancient continent and along its margin[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1～191 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

冯天泗. 1987. 物探方法在黑鹰山磁赤铁矿区的应用效果[A]. 勘查地球物理勘查地球化学文集[C]. 北京:地质出版社. 83～94.

洪大卫, 王式洨, 谢锡林, 等. 2002. 兴蒙造山带正 ε_{Nd}(t)值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J]. 地学前缘, 7(2):441～456.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

黄永瑞. 1985. 黑鹰山铁矿床成因的认识[J]. 甘肃区域地质, (15): 20～24.

刘雪亚, 王 荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化[J]. 地学研究, 28: 37～48.

聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M]. 北京:地质出版社. 1～408.

聂凤军, 江思宏, 胡 朋, 等. 2004. 甘肃北山红尖兵山钨矿床地质特征及成矿物质来源[J]. 矿床地质, 23(1):11～19.

宋学信. 1989. 黑鹰山铁矿床的岩石学、地球化学特征及成因[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, (1):69～79.

王 濮, 潘兆橹, 翁玲宝. 1987. 系统矿物学(下册)[M]. 北京:地质出版社. 168～170.

杨敏之. 2003. 甘肃北山富铁矿床类型、成矿系列及成矿预测[J]. 地质找矿论丛, 18(1):6～12.

赵觉仁, 童炳沅. 1975. 甘肃黑鹰山铁矿床地质[A]. 见:地质科学研究院地质矿产所编. 铁铜矿产专辑(第三集)[M]. 北京:地质出版社. 133～144.

周济元, 张 斌, 张朝文, 等. 1996. 东天山古大陆及其边缘银、铼钼、金和铜矿地质[M]. 北京:地质出版社. 1～191.

Sm-Nd isotopic dating of apatite separates from Heiyingshan high-grade iron deposit, Inner Mongolia

NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, LIU Yan and HU Peng

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Located in the northeastern part of Hongshishan-Heiyingshan terrane within Kazakhstanian-Beishan plate, the Heiyingshan deposit is one of the most important high-grade iron deposits in northwest China. Iron mineralization occurs within the Early Carboniferous dacite, rhyolite, dacitic lava and brecica of Baishan Formation as massive blocks, stratoid layers, lens and veins. The iron-bearing intermediate-acid volcanic sequences are cut by a number of Hercynian mafic and granitoid dykes and controlled by a number of NE- and EW-trending fractural or faulted zones. Individual iron orebodies, from 4 to 12 m in thickness, can be traced along the strike for 115～200 m, and down the dip for 100～200 m. Moreover, several independent yttrium orebodies were recognized within the iron deposit. Although apatite predominates over iron-bearing minerals, no difference has been observed between iron and yttrium orebodies in such aspects as geological setting, wall rock, mineral assemblage and attitude. Mineralogical composition of both iron and yttrium ores is relative simple, composed of magnetite, hematite and trace amounts of pyrite. Gangue minerals include apatite, quartz, chlorite, and hornblende. Eight apatite separates from the massive and vein type iron ores respectively were selected for Sm-Nd isotopic analysis. Six apatite separates from massive iron ores of Heiyingshan deposits give a Sm-Nd isochron age of (322.0 ±4.3) Ma with $\varepsilon_{Nd}(t)$ value of 1.66 ±0.01 (2σ). As the Sm-Nd isochron age is in agreement with field geological evidence, and apatite has co-existing relations with magnetite, it is suggested that the Sm-Nd isochron age represents the ore-forming time of the Heiyingshan high-grade deposit. The ore-forming material might have been derived from a mixed source of depleted mantle- and crust-derived magma or fluids. In contrast, the ε_{Nd}(322 Ma) values of two apatite separates from the vein-type iron ores range from 7.20 to 7.26, much higher than the values of massive iron ores. Combined with other field and geological evidence, the authors believe that the vein type iron ores were probably derived from mantle-related ore fluids.

Key words: geochemistry, high-grade iron deposit, apatite, Sm-Nd isotope, ore genesis, Haiyinshan, Inner Mongolia

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net